心理科学进展　2022, Vol. 30, No. 10, 2206–2218
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2022.02206

·研究前沿(Regular Articles)·

视觉搜索中注意模板促进搜索的内在机制

王紫乐　张　琪

(闽南师范大学教育科学学院, 漳州 363000)

摘　要　生物的视觉搜索能力对适应外部复杂环境具有非常重要的生存意义。注意模板可以在搜索任务的过程中增强相关信息和抑制无关信息, 从而快速找到目标。总结近期研究结果主要有以下发现：在建立注意模板的过程中并不能明确是基于语义信息还是视觉特征信息; 注意模板不仅可以存储在工作记忆中, 也可以存储在长时记忆中; 不同类型注意模板的神经机制存在差异。未来的研究应关注注意模板在建立过程中内部信息如何传递, 并关注不同人群注意模板的神经机制, 以及解决拒绝模板抑制机制的理论争议。

关键词　注意模板, 拒绝模板, 神经机制, 记忆

分类号　B842

1　引言

在日常生活中, 我们经常需要在复杂、丰富的视觉世界里去搜索特定的目标。在实验室研究中, 视觉搜索一般是指个体在某一背景中找到特定的目标或判断这个目标是否出现。视觉搜索任务主要包含以下过程：首先提取对目标的抽象描述, 并在头脑中形成目标的图像, 将其用作注意模板(attentional template)或搜索模板(search template)维持在短时记忆中。在之后的搜索过程中不断转移注意, 将外界输入的视觉信息与短时记忆中的模板进行匹配直到找到最匹配的目标, 即完成搜索(Vickery et al., 2005)。在视觉搜索任务中探究模板的内在机制对理解人类的视觉搜索过程有着重要的意义。

关于模板的思想最早可以追溯到 Duncan 和 Humphreys 于 1989 年提出的注意投入理论(Attentional Engagement Theory), 该理论认为视觉搜索包含 3 个过程：首先是平行加工的知觉描述阶段, 对视野内的信息进行多空间尺度的结构化表征; 第二个是选择过程, 将输入的信息与当前行为所需的内部模板进行匹配; 最后将选择的信息进入视觉短时记忆(Duncan & Humphrey, 1989; Duncan & Humphreys, 1992)。在视觉搜索任务中, 保存在短时记忆中的模板信息被用于确定感觉信息加工的优先级, 并判断当前信息是否与目标匹配(Geng & Witkowski, 2019)。在以往的一些研究中, 并没有严格区分注意模板和搜索模板的概念(Geng & Witkowski, 2019; Malcolm & Henderson, 2009; Reeder, van Zoest et al., 2015; Witkowski & Geng, 2019)。随着对注意模板(或搜索模板, 以下都称为注意模板)研究的扩展, 研究者们将注意模板分为目标模板和拒绝模板两类。因此注意模板根据存储的信息类型可以分为两种, 一种存储目标相关信息, 用于对目标的注意选择过程, 一般称为目标模板(Hout & Goldinger, 2015; Vickery et al., 2005; Won et al., 2020); 另一种存储干扰物相关信息, 用于抑制干扰物, 称为拒绝模板(Arita et al., 2012; Cunningham & Egeth, 2016; Geng, 2014; Moher & Egeth, 2012; Sawaki & Luck, 2011; Vatterott & Vecera, 2012; Won & Geng, 2018)。

对注意模板的研究主要分为注意模板的建立过程、注意模板包含的信息、注意模板与记忆的关系以及不同类型注意模板的神经机制等。特征整合理论(the Feature-Integration Theory)认为视觉搜索包含两个阶段, 在第一个阶段会对刺激的不同特征进行平行加工, 如颜色、方向等, 属于自动

收稿日期：2021-10-15
通信作者：张琪, E-mail: zq1892@mnnu.edu.cn

加工阶段; 在第二个阶段将同一物体的不同特征进行整合, 从而能够对物体进行正确表征, 这个阶段需要注意的集中参与才能完成(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990)。偏向竞争模型(Biased Competition Model)认为, 在视觉搜索过程中, 目标和干扰物会以相互竞争的方式捕获注意, 除了自下而上的注意偏向之外, 还需要自上而下的注意控制(Desimone & Duncan, 1995)。特征整合理论和偏向竞争模型都认为视觉搜索是自上而下的知识和自下而上的信息之间的交互过程, 在干扰物中选择目标需要将视觉输入与自上而下的注意模板相匹配。注意模板通常是根据目标或者干扰物的相关信息建立的, 这种信息一般以提示的形式呈现给被试, 被试根据提示建立模板并搜索目标。例如, Vickery 等人(2005)采用线索提示范式来研究模板的建立过程。在 5 个实验中研究者分别采用不同的提示线索类型来探究不同类型的信息在建立目标模板中的作用。研究结果发现当提示的图片线索与目标完全匹配(精确线索)时, 搜索速度快于中性线索(无提示信息)或语义线索, 同时提示精细线索还快于小线索或旋转线索; 与语义线索或中性线索相比, 小线索或旋转线索提示时搜索更快。因此研究者认为视觉信息比语义信息更加有利于建立注意模板, 进而提高视觉搜索效率。注意模板在建立之后并非只存储在工作记忆中。例如, Woodman 等人(2007)的研究发现, 在搜索目标试次间变化的条件下, 搜索任务会受到记忆任务的显著影响, 说明注意模板存储在视觉工作记忆中; 而在搜索目标试次间恒定的条件下, 搜索任务不会受到记忆任务的影响, 说明在这个条件下, 搜索目标可能存储在长时记忆中。在注意模板神经机制的研究中, 对灵长类动物的研究发现, 注意模板的激活涉及到前额叶皮层(prefrontal cortex)的神经元, 在选择和维持目标中发挥作用(Chelazzi et al., 1998; Evans et al., 2011), 并投射到表征物体的颞下(inferotemporal)皮层(Hout & Goldinger, 2015; Peelen et al., 2009)。Wei 等人(2009)发现在视觉搜索任务中, 双侧额叶眼动区(frontal eye field)、顶内沟(intraparietal sulcus)、中央前回(precentral gyrus)和辅助眼动区(supplementary eye field)起到表征目标的作用, 用于探测目标是否出现并做出反应, 同时右侧额上回和双侧颞顶交界处可能在过滤和拒绝干扰信息中发挥作用。

近年来, 研究者们对注意模板的内在机制进行了更加深入的研究, 本文将从以下角度进行阐述, 包括在建立注意模板时依赖的信息(建立过程)、注意模板与记忆的关系(存储过程)、注意模板促进搜索的机制(作用机制)等现有研究成果, 以及未来侧重的研究方面。

2　注意模板内在机制的研究

2.1　在视觉搜索中建立注意模板依赖的信息

2.1.1　依赖视觉信息建立注意模板的观点

一些研究者发现进行视觉搜索任务时建立注意模板依赖的是视觉信息。在对目标模板的研究中, Reeder 和 Peelen (2013)采用点探测范式研究了在类别水平的自然场景搜索任务中目标模板的内容, 实验是由 75%的视觉搜索任务和 25%的点探测任务组成。在视觉搜索任务中, 被试根据线索提示来判断搜索屏中的目标在屏幕左边还是右边, 在点探测任务中点出现之前会在屏幕左右两边分别呈现不同的探测刺激, 并告知被试忽略这些刺激, 探测刺激消失后会出现点, 被试的任务是判断点出现在屏幕左侧还是右侧。在这个实验范式中, 由于 75%的试次是视觉搜索任务, 所以当线索提示呈现后, 被试就会根据相应的线索形成目标模板, 这个实验假设当注意模板中的内容包含某个探测刺激时, 那么呈现相应探测刺激的一侧会捕获注意, 当接下来点呈现在同一位置相比于不同位置, 反应时更快, 称为一致性效应。结果发现轮廓的部分特征有显著的一致性效应, 说明注意模板包含判断物体类别的部分特征。Wurth 和 Reeder (2019)在后续研究中同样采用点探测范式以及自然场景的图片作为实验材料, 结果发现物体类别水平的注意模板由整个物体轮廓和判断物体类别的部分特征组成, 但仅有判断物体类别的部分特征并不能构成一个充分的目标模板。Zhang 和 Li (2020)采用点探测范式发现在快速视觉搜索任务中, 在短时记忆中的目标模板信息更多的是低频信息, 并且在阈限附近的低频信息能够内隐地促进目标识别过程, 进而提高视觉搜索效率。这些结果说明了注意模板中包含了用于搜索的客体相关特征的视觉信息。Reeder, van Zoest 和 Peelen 在 2015 年使用点探测范式探索了在自然场景下目标模板到底是基于搜索场景中视觉特征,

还是脑海中语义信息产生。结果发现，自然场景搜索条件下对目标搜索的关键因素是视觉特征对目标模板的激活。不仅如此, Chen 等人(2018)发现，可以利用目标模板通过模态补全(amodal completion)的方式对一些遮挡的图像进行搜索，视觉系统自动对遮挡物体缺失的部分进行补全的机制叫模态补全。实验目标由图形定义，以简单图形或复合图形的形式呈现，这两种呈现方式在搜索任务中随机出现。结果发现，在全局搜索任务(图片完整呈现)中，搜索复合图形要比在局部任务(图片部分呈现)以及马赛克任务(图片部分马赛克遮挡)中的反应更快，且正确率更高。这说明全局搜索任务中，在搜索全局图形时会形成注意模板，因此在搜索被遮挡的复合图形时注意模板会自动补全缺失部分。在对全局图形搜索过程中建立的目标模板能够对遮挡的图形自动补全，也说明了注意模板可以通过目标的视觉特征信息建立。目标模板中不仅包含目标的特征信息，也包含了干扰物的特征信息。在对拒绝模板的研究中, Geng 等人(2017)在实验中操纵了视觉搜索任务中出现与目标相似干扰物的概率，在高相似组中，与目标颜色相似的干扰物出现的概率较高，在低相似组中，与目标颜色相似的干扰物出现的概率较低。结果发现与低相似组相比，高相似组的反应更快，反应时能够更早地达到渐近水平，且达到渐进水平的拐点明显更接近目标颜色。说明在拒绝模板中，也包含干扰物的视觉信息，并且拒绝模板包含的信息可以根据干扰物的情况进行灵活的调整；与目标相似的干扰物出现的频率越高，拒绝模板对干扰物的表征越精确，同时对干扰物的抑制能力越强。

2.1.2 依赖语义信息建立注意模板的观点

我们在建立注意模板时语义信息并不是不起作用的，因为现实生活中的注意模板并不总是能提供与特定目标的视觉属性精确匹配的信息，搜索目标的信息通常是由语义信息提供的。例如，当别人问你是否能在衣柜里找到他的包，但是你事前并不知道关于那个包的具体的视觉信息，比如是红色的还是绿色的，是大的还是小的，但是依旧能准确地找到包。研究者也提供了关于语义信息在注意模板建立时产生影响的证据。Nako 等人(2015)采用事件相关电位研究不同线索类型对建立目标模板的效率的影响。实验中每个试次都会先呈现新的搜索目标，每个目标在整个实验过程中只出现一次，实验中将 N2pc (N2 posterior contralateral)成分作为目标选择的空间注意指标(Luck & Hillyard, 1994)。在实验中搜索目标呈现后，会出现连续 3 个搜索屏，被试需要在每个搜索屏中找到目标并报告该目标的位置。实验将不同目标第一次、第二次和第三次呈现所引发的 N2pc 成分进行了对比，当目标的注意模板是由单词定义时，第一次搜索相对于第二次和第三次搜索时的 N2pc 振幅降低。在对照实验中，单词线索被一幅准确的目标图像替换，即目标的线索是由图片定义的。结果发现对于目标第一次呈现和随后两次呈现的 N2pc 成分没有显著差异。实验结果说明当线索是图片时，第一次搜索之前就已经形成精确的目标模板；而当线索是以单词形式呈现时，第一次搜索并没有很好的建立精确的目标模板，而在后续的搜索中随着目标的出现才开始建立精确的目标模板。这说明在建立精确目标模板方面，单词线索的效率可能不如图片线索。Baier 和 Ansorge 在 2019 年的研究中探讨了视觉搜索中颜色类型的注意捕获是否依赖于语言或语义信息，结果也同样发现基于颜色视觉信息产生的目标模板相比于基于语义信息产生的目标模板搜索效率更高，说明在建立目标模板方面，语义信息可能并不如视觉信息有效(Baier & Ansorge, 2019)。Sun 等人(2015)研究与颜色相关的概念词(例如，海洋与蓝色相关)是否能够激活相应物体颜色的目标模板时发现，注意模板可以在没有视觉特征的条件下通过语义信息生成，并且由概念产生的目标模板与由视觉特征产生的注意模板在任务表现上没有显著差异。尽管对于建立拒绝模板依赖语义信息的研究相比于目标模板要少(Daffron & Davis, 2015)，一些研究者仍发现了在建立拒绝模板时也可以依赖语义信息(Balani et al., 2010; Daffron & Davis, 2015, 2016)。总之，就目前研究来看，注意模板不仅涉及语义信息的激活，而且还涉及到物体的视觉信息的激活(Hwang et al., 2011; Lupyan, 2008; Meyer et al., 2007; Moores et al., 2003; Nako et al., 2015; Sun et al., 2015; Telling et al., 2010)。我们并不能单独考察语义或视觉特征对注意模板的影响，因为在研究中我们并不能将语义和视觉特征很好的分离(Hwang et al., 2011)，在我们模板的建立过程中，在前期可能是由语义特征建立的，

随着搜索的进行, 视觉特征的优势效应在后期起作用(de Groot et al., 2017; Hwang et al., 2011; Nako et al., 2015)。模板建立过程使用的是视觉信息还是语义信息或者两者共同驱动以找到目标, 仍有待后续研究。

2.2 注意模板与记忆的关系

2.2.1 注意模板存储在工作记忆的观点

注意模板一般被认为存储在视觉工作记忆中, 用于在视觉搜索过程中引导注意力(Olivers et al., 2011; 张豹 等, 2013; 车晓玮 等, 2020)。在工作记忆中保持模板的观点至少可以追溯到 20 世纪 90 年代的行为和神经生理学研究(Desimone & Duncan, 1995; Duncan & Humphreys, 1989)。Duncan 和 Humphreys (1989)认为视觉搜索过程中, 与内部模板匹配的视觉信息进入短时记忆, 从而实现注意控制。视觉搜索被认为是由任务相关特征形成的视觉工作记忆表征, 即注意模板引导的(van Loon et al., 2017)。对于注意模板与记忆的关系, 最普遍接受的理论认为模板直接保存在工作记忆中, 因此等同于工作记忆表征(Soto et al., 2008)。这一观点也得到了一些认知神经研究的支持, Woodman 和 Arita (2011)采用对侧延迟活动(the contralateral delay activity, CDA) 来研究工作记忆是否参与维持注意模板, CDA 成分被认为是视觉工作记忆负荷的可靠指标(Vogel et al., 2005; Vogel & Machizawa, 2004), 结果发现线索引发的 CDA 一直持续到执行搜索, 说明模板的确保持在工作记忆中(Woodman & Arita, 2011)。

一些研究者认为虽然在工作记忆中可以存储多个的记忆项, 但可以激活的模板数量仅限于一个, 其他项目作为附属记忆项存储在工作记忆中(Burra & Kerzel, 2013; Carlisle & Woodman, 2011; Hollingworth & Hwang, 2013; Olivers et al., 2011; Ort et al., 2017; Soto et al., 2012; van Moorselaar et al., 2014, 2015)。例如, 对于目标模板的研究, Houtkamp 和 Roelfsema (2009)采用信号检测理论将数据拟合到不同模板的模型中来估计工作记忆中可以存储的模板数量, 实验中采用快速视觉呈现范式(rapid serial visual presentation), 在进行搜索前呈现两个形状(形状实验), 或两个颜色(颜色实验), 或一个形状一种颜色(组合实验), 被试需要在快速呈现的刺激序列中判断是否包含呈现过的形状或者颜色。行为结果发现搜索两个项目要比单独搜索一个项目的表现更差, 并且数据拟合结果发现, 无论是搜索单个项目还是两个项目, 估计出的模板数量在 0.9 到 1.1 之间, 说明在工作记忆中只存储一个模板。对于拒绝模板的研究, van Moorselaar 等(2014)发现当记忆负载颜色数量只有一种时, 与之匹配的干扰颜色的存在会导致反应时变慢, 当记忆负载的颜色为两个以上时, 与记忆颜色匹配的干扰颜色和不匹配的干扰颜色对搜索的干扰没有显著差异, 说明在工作记忆中存储的拒绝模板的数量只有一个。其他研究者持相反的观点, 认为工作记忆中也可以同时存储多个注意模板(Ansorge & Horstmann, 2007; Beck et al., 2012; Beck & Hollingworth, 2017; Hollingworth & Beck, 2016; Irons et al., 2012; Kerzel & Witzel, 2019; Worschech & Ansorge, 2012; Zhou et al., 2020)。例如, 对于目标模板的研究, Beck 等人(2012)研究了在工作记忆中是同时维持两个目标模板还是在两个目标模板之间切换。在实验中, 要求被试在一半试次中先后搜索两种颜色的项目(顺序搜索条件), 在另一半试次中同时搜索两种颜色的项目(同时搜索条件)。结果发现当被试在同时搜索条件和顺序搜索条件的搜索速度没有显著差异; 在顺序搜索条件下, 出现了显著的转换成本(相对于对同一种颜色的注视, 从一种颜色注视到另一种颜色的注视时间会增加), 而在同时搜索条件下的转换成本要比顺序搜索条件下更小, 并且在两种搜索条件下的平均注视时间没有差异, 这说明在不同的任务指令下, 在工作记忆中既可以顺序激活两个目标模板, 也可以同时激活两个目标模板。Grubert 和 Eimer (2015)采用 N2pc 成分作为注意选择的指标, 发现在顺序搜索两个由颜色定义的目标时所出现的搜索的延迟并不是由于目标模板的转换成本导致, 而是两个目标模板之间相互竞争的结果。Kerzel 和 Witzel (2019)对颜色目标的注意模板数量进行测量时发现, 颜色搜索的线索效应不受记忆颜色数量的影响, 工作记忆中可以存储不止一个目标模板。对于拒绝模板的研究, Hollingworth 和 Beck (2016)发现工作记忆中可以存储不止一个拒绝模板。实验中要求记忆一种或者两种颜色的色块, 在记忆维持阶段被试会进行搜索任务, 记忆色块总是作为干扰颜色出现在搜索屏中。结果发现, 当搜索屏中的干扰颜色无论与记忆色块相匹配的颜色是一种还是两种,

搜索的反应时没有显著差异。说明记忆中至少是可以有两个拒绝模板的。目前对工作记忆存储的模板数量仍有争议。一些研究者认为，当搜索两个项目时要比搜索单个项目表现更差，存储在工作记忆的注意模板只有一个(Burra & Kerzel, 2013; Hollingworth & Hwang, 2013; Olivers et al., 2011; Ort et al., 2017; Soto et al., 2012; van Moorselaar et al., 2015)，然而，同时搜索两个项目比搜索一个项目的表现要差的原因有很多，并不能直接的认为工作记忆中只存储一个模板。例如，当两个模板同时存储在工作记忆时，由于工作记忆资源有限，每个模板得到的资源相比于只存储一个模板时会相应减少，进而导致搜索效率的降低；同时，模板在工作记忆中的表征可能分为同时激活和切换两种，当两个模板同时激活时，在线态中的信息会相互干扰，从而导致同时搜索两个项目要比搜索一个项目的表现要差(Zhang et al., 2021)；当两个模板为相互切换时，此时切换不仅需要时间，同时记忆表征会受到损害，也会使同时搜索两个项目的效率低于搜索一个项目(Zhang et al., 2021)。而且不同的实验范式也可能是造成不同结果的原因(Frătescu et al., 2020)，在不同的范式中，不同的项目在工作记忆的优先级是有差别的，当不同的项目在实验中优先级相同时，在工作记忆中得到等量的资源就可能会建立两个模板(Grubert & Eimer, 2020)，而当其中一个项目由于任务需求而被剥夺优先级时，它在工作记忆中得到的资源就会减少，无法建立多个注意模板(Kerzel & Witzel, 2019)。

2.2.2 注意模板可能存储在长时记忆的观点

另一些理论认为，虽然注意模板储存在工作记忆中可能是必要的，但不足以把工作记忆表征等同于模板(Dube & Al-Aidroos, 2019; Hollingworth & Hwang, 2013; Kerzel & Cong, 2021)。也有研究者认为注意模板具有独立于工作记忆表征的属性，这表明注意模板与工作记忆表征可以分离(Carlisle & Woodman, 2011; Kerzel, 2019)。然而 Kong 等人(2020)的研究表明，注意模板和工作记忆并不是等同的，但是两者也并不能完全独立，可能存在一个共享的机制负责注意模板和工作记忆。尽管有很多研究发现，注意模板可以存储在工作记忆中(Berggren & Eimer, 2018a; Carlisle & Nitka, 2019; Desimone & Duncan, 1995; Duncan & Humphreys, 1989; Sawaki & Luck, 2011; Shirama et al., 2017)，但是一些研究人员认为注意模板也可以存储在长时记忆中(Carlisle et al., 2011; Cowan, 1995; Woodman et al., 2013)。当目标在整个实验过程中保持不变时，搜索任务不会受到记忆任务的影响，说明注意模板有可能被储存在长时记忆中(Woodman et al., 2001)，而当目标在试次之间变化时，注意模板存储在视觉工作记忆中(Woodman et al., 2007)。

然而，有研究者认为，注意模板不能被简单的认为保存在工作记忆或者长时记忆中。Carlisle 等人(2011)的研究发现注意模板在初期会保持在视觉工作记忆，但后续会逐渐转移到长时记忆中。在实验中，研究者采用线索提示的视觉搜索任务，每个试次的搜索目标随机出现，可能是双目标提示或单目标提示，被试需要判断提示的目标是否出现，结果发现被试在双目标提示条件下的 CDA 振幅是单目标提示条件下的 CDA 振幅的两倍，说明搜索的目标的表征都保持在视觉工作记忆中；研究者还采用了固定目标的搜索范式，发现随着实验的进行，CDA 成分逐渐减少，说明随着注意模板的获得，存储在视觉工作记忆的模板就会转移到长时记忆中。其他的研究结果也支持了这一发现(Grubert et al., 2016; Gunseli et al., 2014; Reinhart et al., 2015; Reinhart & Woodman, 2014a)，例如，Grubert 等人(2016)的研究中，在每个试次开始会给被试提示一种、两种或者三种可能的目标颜色，被试的任务是根据提示所代表的颜色找到目标。在颜色恒定试次中，与目标相关的颜色始终是不变的；在颜色变化的试次中，目标颜色在试次之间会发生变化。实验结果发现 CDA 成分在目标颜色变化的试次中要比在颜色恒定的试次中更大，并且 CDA 成分都会随着颜色记忆负荷的增加而增强，说明目标在试次间变化时，不同目标模板之间可能存在切换，注意模板存储在工作记忆中；而当目标在试次间恒定时，存储在工作记忆中的注意模板至少部分会转移到长时记忆中。最近的一项研究质疑了这一发现，当被试搜索两个目标中的其中一个时，即使目标的身份是固定的，注意模板还是可以继续存储在工作记忆中(Berggren & Eimer, 2018b)。Woodman 等人(2013)将 P170 成分作为长时记忆中的信息积累的直接指标，通过对 Carlisle 等人(2011)的研究数据重新绘制发现，随着 CDA 消失，同时观察到

P170 振幅增加。在他们团队后续的研究中同样发现, 随着目标在试次间重复, P170 成分的振幅是逐渐增大的, 说明了目标模板是可以转移到长时记忆中的(Reinhart & Woodman, 2014b)。注意模板在两种记忆中的存储或许有条件限制, 当呈现方式不同时, 注意模板可能分别存储在两种记忆中, 即当目标不变时, 存储在工作记忆中的注意模板会转移到长时记忆中, 当目标变化时, 不同目标模板之间可能存在切换, 被试就无法对一种模板进行持续性学习, 只能保持在工作记忆中。然而, 目前研究中注意模板也可以存储在长时记忆的观点大多来自目标模板的研究, 拒绝模板在视觉搜索中是否可以从工作记忆转移到长时记忆中需要更多的实验证据。

不同范畴下的注意模板可能具有不同的存储机制, 已有的研究主要集中在精确的客体范畴下, 而类别范畴的注意模板相对不精确, 可以包含同一类别下的不同客体, 那么类别范畴下的注意模板是会随着搜索的进行不断调整模板的内容, 使表征更精确, 还是保持原有的注意模板内容不变, 以及类别范畴注意模板的存储方式是否同样受到目标是否变化的影响仍有待研究。

2.3　视觉搜索中注意模板的作用机制

2.3.1　目标模板的作用机制

在视觉搜索过程中, 不仅需要增强对目标注意, 还涉及到对干扰物的抑制, 以达到更快的搜索效果。因此对目标成功的搜索需要涉及到两种注意机制：增强目标的相关信息和抑制干扰物的信息(Won & Geng, 2018)。在大部分研究中主要关注前者, 发现目标的特征可以通过增强相关感觉信息而得到优先加工, 但在更快速选择目标的同时, 也会导致与目标具有相同特征的干扰物被错误的选择(Desimone & Duncan, 1995; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Wolfe & Horowitz, 2004); 在对后者的研究中, 发现确实存在着一种对干扰物的抑制机制, 能够提高搜索效率(Cunningham & Egeth, 2016; Gaspar & McDonald, 2014; Gaspelin et al., 2015, 2017; Noonan et al., 2016; Sawaki & Luck, 2011)。因此, 目标模板和拒绝模板都能促进视觉搜索。虽然目标模板和拒绝模板都能促进搜索, 但是它们可能由不同的机制在起作用(Zhang et al., 2020)。抑制机制可以独立于选择机制对环境中的某个刺激或位置进行抑制, 并且由不同的神经元控制(Chelazzi et al., 2019), 这一观点得到认知神经研究的支持。研究者发现, 右后颞皮层(right posterior temporal cortex, pTC)区域表征待检测物体类别的信息, 能够促进目标的搜索(Reeder, Perini et al., 2015)。前上顶叶(anterior superior parietal lobule)参与了目标模板对任务相关特征的表征(Peelen & Kastner, 2011)。皮层 α 频段活动可能与抑制任务无关神经元的功能, 或增加任务相关神经元的兴奋性有关(van Diepen et al., 2019)。Reeder 等人(2017)采用功能磁共振成像技术研究了哪些脑区与拒绝模板的作用有关, 实验结果发现目标模板和拒绝模板激活的脑区是有差异的。在搜索任务中要求被试回答目标字母 T 是朝左还是朝右, 进行视觉搜索前会呈现线索提示, 提示中的“+”、“−”、“○”分别代表正向线索(目标出现在与线索颜色相同的彩色圆圈中), 负向线索(干扰物出现在与线索颜色相同的彩色圆圈中)与中性线索(线索提示颜色不会出现在搜索屏中)。结果发现, 目标模板的注意选择过程可能与双侧枕极(bilaterally at the occipital pole)以及外侧枕叶(lateral occipital cortex)的激活有关, 后顶叶皮层与楔前区相邻的区域(the area of posterior parietal cortex bordering precuneus)在拒绝模板过滤与任务无关的信息中发挥作用。不仅如此, Reeder 等人(2018)在后续的研究也发现, 目标模板在初级视觉皮层中有明显的表征, 而对于干扰物模板则没有明显的表征, 支持了目标模板和拒绝模板存在不同的神经机制。

2.3.2　拒绝模板的作用机制

Arita 等人(2012)提出了一种抑制性的注意模板, 称为“拒绝模板”, 拒绝模板是基于干扰物的线索建立的, 可以抑制干扰物特征, 并且与中性线索相比, 干扰物线索会更加有利于搜索。

对于拒绝模板的神经机制研究, 许多研究者通过事件相关电位分析发现, 当视觉搜索屏中包含显著但与任务无关的干扰物时, 呈现这些干扰物的对侧大脑后部区域会引发更正性的成分, 这种成分被称为 Pd (distractor positivity), 被认为是与主动抑制干扰物有关的脑电成分(Burra & Kerzel, 2014; Kiss et al., 2012; Sawaki et al., 2012; Sawaki & Luck, 2010)。在 Berggren 和 Eimer (2018a)的研究中, 呈现的搜索屏中只有一侧的视觉刺激是与任务相关的, 结果发现在干扰物的对

侧诱发了 Pd 成分，表明对对侧干扰物的主动抑制。如果在对干扰物的抑制过程是由拒绝模板控制的，那么Pd成分的存在应该表明拒绝模板已被激活。背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex)的激活可能与对干扰物的抑制有关(Geng, 2014; Suzuki & Gottlieb, 2012)。抑制过程可以发生在注意转移之前，以防止显著性刺激引起注意，这种抑制能力随着被试逐渐获得干扰物相关的特征而逐渐增强(Gaspelin & Luck, 2019)。在以往对高焦虑个体的研究发现注意抑制效应会随着个体焦虑水平的提高而下降。例如, Gaspar 和 McDonald (2018)使用 N2pc 和 Pd 成分来研究高焦虑特质是否与防止注意捕获并抑制干扰物有关，结果发现在高焦虑组中观察到干扰物引发了显著的 N2pc 成分，但是不管高焦虑组还是低焦虑组，都能观察到Pd成分，说明低焦虑的个体可以主动抑制干扰物，而高焦虑的个体只有在被干扰物捕获注意后才会开始抑制干扰物。不仅如此，Salahub 和 Emrich (2021)的研究也发现，当个体的焦虑程度越高时，越有可能被与拒绝模板匹配的干扰物捕获注意，而焦虑程度较低的个体可以避免被与模板匹配干扰物的捕获注意。对不同人群来说，拒绝模板对搜索效率的影响也可能不同，比如老年群体，由于认知控制能力减弱，抑制无关干扰物的能力也有限，注意模板在促进搜索的机制可能也存在差异，对一些正常人的研究结果可能并不具有普遍适用性。因此，在对注意模板的后续研究中，需要考虑不同人群之间的差异。

在对注意的抑制机制的研究中，许多研究者认为在抑制干扰物时，可能是对干扰物所在的位置进行抑制的(Dark et al., 1996; Theeuwes et al., 1998; Watson & Humphreys, 1997)。近年来概率学习的相关研究发现当特定干扰物出现在一个位置的频率远高于其他位置时，对于该位置的选择效率就会降低(Ferrante et al., 2017; Wang & Theeuwes, 2018a, 2018b)。对干扰物的空间位置抑制也得到了电生理学证据的支持。例如, Schönhammer 等人(2020)采用空间线索范式研究发现，当提示的位置与目标位置相同时，反应要快于提示位置与目标位置不同的条件，并且在提示位置的对侧产生一种抑制性的脑电成分 Pd，说明产生的是对干扰物空间位置的抑制。Beck 等人在 2015 年与 2018 年的研究发现，拒绝模板对干扰物的抑制不太可能是基于特征，可能是由于在搜索屏出现时将特征信息转换为空间信息，即拒绝模板对于干扰物的抑制是基于空间位置(Beck et al., 2018; Beck & Hollingworth, 2015)。然而在后续的研究中, Carlisle 和 Nitka (2019)采用提示范式对 Beck 等人(2015)基于位置的拒绝模板进行检验，结果并没有发现被试使用基于位置的策略来执行任务。近年来的一些研究也发现，拒绝模板在对干扰物进行抑制时，并不是基于干扰物的空间位置，而是对干扰物的特征进行抑制(Tanda & Kawahara, 2020)。即使干扰物的特征是显著的，在经过的学习训练之后，也能有效抑制干扰物(de Tommaso & Turatto, 2019; Gaspelin & Luck, 2018; Turatto et al., 2018)。一些研究者探究了模板搜索策略(特征搜索模式和单例搜索模式)对显著干扰抑制的影响(de Tommaso & Turatto, 2019; Graves & Egeth, 2015)。研究发现在特征搜索条件下，随着学习的进行，被试可以有效的对显著干扰物进行抑制；而在单例搜索条件下，无法习得抑制效应的原因可能包括以下两种，在单例搜索策略下，目标和显著干扰物都是特征单例(de Tommaso & Turatto, 2019), 或目标和干扰物的特征不固定，存在相互切换(Graves & Egeth, 2015)。

目前研究者所使用的研究范式容易将特征和空间位置混淆，在对干扰物的特征进行抑制时，也仍然不能排除空间位置的影响(Tanda & Kawahara, 2019)。而且对于不同的研究范式，基于位置还是基于特征的抑制优先级是不同的。例如，当在搜索任务之前提示位置信息时，对位置的抑制可能占主导地位(Schönhammer et al., 2020); 当搜索任务之前提示特征信息时，基于特征的抑制可能占主导地位(Arita et al., 2012; de Tommaso & Turatto, 2019)。因此，在未来研究中，可以采用更完善的实验范式将特征和空间位置进行分离，在匹配特征信息和空间位置信息难度的情况下，可以采用眼动仪记录被试的眼动轨迹，进一步探究拒绝模板在分别基于两种信息的抑制过程中优先级的影响因素。

3 未来研究展望

在视觉注意模板内在机制的研究中，主要有以下争议：首先，视觉搜索任务建立注意模板依赖的信息中，目前的实验研究并不能将视觉信息

和语义信息很好的分离, 因此在考察建立注意模板依赖的是视觉信息, 还是语义信息或是两者共同驱动的仍有争议; 其次, 在抑制机制的研究中, 对干扰物的抑制在基于位置和基于特征的抑制优先级的影响因素仍需进一步研究; 最后, 注意模板也不能简单的认为是存储在工作记忆中的, 也可能存储在长时记忆中, 但是现有研究并未区分存储这两种记忆的条件。除此之外, 注意模板的内在机制的研究中仍然有其他问题需要解决, 主要有以下方面:

第一, 我们对模板信息在视觉搜索过程中如何被传递和使用知之甚少, 而且在大多数实验室任务中, 并没有关注模板的建立过程, 尤其是在目标固定的任务中, 在练习后, 被试已经形成了相应的注意模板, 所以一些研究忽略了注意模板的建立过程(Alfandari et al., 2019)。注意模板在促进搜索的过程是复杂的, Hout 和 Goldinger (2015)和 Rajsic 和 Woodman (2019)认为注意模板在促进搜索时具有引导搜索和决策的双重功能, 可以引导人们注意潜在的相关项目, 并将视觉输入与注意模板进行比较, 以进行目标确认或拒绝。有研究者认为在利用模板进行视觉搜索的过程中, 实际上有两种相关的表征或"模板", 第一种是"引导模板", 引导模板包含比较粗糙的特征, 用于引导注意到可能的候选目标上; 另一个是前文提到的"目标模板", 包含物体的精确特征, 用于确认目标(Anderson, 2014; Cunningham & Wolfe, 2014; Kerzel, 2019; van Loon et al., 2017; Wolfe, 2012, 2020a, 2020b)。Yu 等人(2022)研究了模板信息在视觉搜索引导和决策阶段是如何使用的, 结果发现单个目标模板在两个过程中所使用的信息是不同的。但是目前很少有研究探讨引导和决策过程在视觉搜索周期中发生的时间节点, 也很少有研究探讨在搜索多个目标时引导和决策过程中使用的信息是否相同, 这些问题仍需要更多的实验证据来解决。

第二, 研究者在对异常人群的研究中, 发现 ASD (自闭症谱系障碍)个体在完成视觉搜索任务中相比于 TD (正常)个体具有明显的视觉搜索优势(Hessels et al., 2014; Marciano et al., 2021; Shirama et al., 2017), 在同等任务难度的情况下, ASD 个体搜索正确率要高于 TD 个体, 并且对目标和外周干扰物的注视次数要少于 TD 个体(彭晓玲, 黄丹, 2018)。ASD 和 TD 个体在视觉搜索中激活的脑区也有所不同, ASD 个体主要激活额叶、枕叶和顶叶脑区, 而 TD 个体激活的脑区集中在左壳核(left putamen) (Keehn et al., 2012), 鉴于 ASD 和 TD 个体之间在视觉搜索任务中可能存在差异, 未来对注意模板的研究可以扩展到异常人群。

第三, 尽管对拒绝模板抑制机制的研究取得了很大的进展, 但是拒绝模板的抑制到底是如何发生的仍存在争议。有研究者认为拒绝模板在促进搜索时是通过被试主动抑制已知的干扰物来进行的, 这也被称为主动注意抑制假说(active attentional suppression hypothesis) (Arita et al., 2012; Zhang et al., 2020)。Zhang 等人(2020)采用点探测范式研究拒绝模板的早期注意效应, 实验中在进行搜索任务之前会呈现负向线索(提示干扰物颜色), 被试已知提示的线索为干扰物特征, 结果发现, 在搜索开始后 100 ms, 目标相比于干扰物被更多的捕获注意, 实验支持主动注意抑制的观点; 其他一些研究者认为注意力首先会被干扰物所吸引, 在被干扰物捕获注意后, 抑制过程才会发生, 这称为搜索破坏假说(search and destroy) (Moher & Egeth, 2012)。这一观点也得到一些眼动实验研究的支持, 在这些研究中, 搜索任务开始前会给被试呈现干扰物的提示信息(干扰物的特征信息或位置信息), 被试已知提示内容为干扰物信息, 实验结果发现, 尽管被试被告知要尽可能直接眼跳到目标, 但被试还是会更多的眼跳到干扰物上, 随着实验的进行, 被试逐渐表现出对干扰物的抑制, 更少的直接眼跳到干扰物上(Beck et al., 2018; Chang et al., 2019; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。虽然都有实验证据支持这两种拒绝模板抑制效应的假说, 但这两个假说的争论目前也没有明显的定论。

参考文献

车晓玮, 王凯旋, 上官梦麒, 李寿欣. (2020). 视觉工作记忆中注意模板的表征——来自 EROS 的证据. *心理与行为研究*, *18*(3), 297–303.

彭晓玲, 黄丹. (2018). 任务难度对自闭症儿童视觉搜索优势显现的影响. *心理科学*, *41*(2), 498–503.

张豹, 黄赛, 祁禄. (2013). 工作记忆表征引导视觉注意选择的眼动研究. *心理学报*, *45*(2), 139–148.

Alfandari, D., Belopolsky, A. V., & Olivers, C. N. L. (2019). Eye movements reveal learning and information-seeking

in attentional template acquisition. *Visual Cognition*, *27*(5–8), 467–486.

Anderson, B. A. (2014). On the precision of goal-directed attentional selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(5), 1755–1762.

Ansorge, U., & Horstmann, G. (2007). Preemptive control of attentional capture by colour: Evidence from trial-by-trial analyses and orderings of onsets of capture effects in reaction time distributions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(7), 952–975.

Arita, J. T., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2012). Templates for rejection: Configuring attention to ignore task-irrelevant features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*(3), 580–584.

Baier, D., & Ansorge, U. (2019). Investigating the role of verbal templates in contingent capture by color. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(6), 1846–1879.

Balani, A. B., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2010). Working memory and target-related distractor effects on visual search. *Memory and Cognition*, *38*(8), 1058–1076.

Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2015). Evidence for negative feature guidance in visual search is explained by spatial recoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(5), 1190–1196.

Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2017). Competition in saccade target selection reveals attentional guidance by simultaneously active working memory representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*(2), 225–230.

Beck, V. M., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2012). Simultaneous control of attention by multiple working memory representations. *Psychological Science*, *23*(8), 887–898.

Beck, V. M., Luck, S. J., & Hollingworth, A. (2018). Whatever you do, don't look at the …: Evaluating guidance by an exclusionary attentional template. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(4), 645–662.

Berggren, N, & Eimer, M. (2018a). Visual working memory load disrupts template-guided attentional selection during visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(12), 1902–1915.

Berggren, N., & Eimer, M. (2018b). Electrophysiological correlates of active suppression and attentional selection in preview visual search. *Neuropsychologia*, *120*(2018), 75–85.

Burra, N., & Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: Evidence from the N2pc, Pd, and topographic segmentation. *Psychophysiology*, *50*(5), 422–430.

Burra, N., & Kerzel, D. (2014). The distractor positivity (Pd) signals lowering of attentional priority: Evidence from event-related potentials and individual differences. *Psychophysiology*, *51*(7), 685–696.

Carlisle, N. B., Arita, J. T., Pardo, D., & Woodman, G. F. (2011). Attentional templates in visual working memory. *Journal of Neuroscience*, *31*(25), 9315–9322.

Carlisle, N. B., & Nitka, A. W. (2019). Location-based explanations do not account for active attentional suppression. *Visual Cognition*, *27*(3–4), 305–316.

Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, *137*(2), 217–225.

Chang, S., Cunningham, C. A., & Egeth, H. E. (2019). The power of negative thinking: Paradoxical but effective ignoring of salient-but-irrelevant stimuli with a spatial cue. *Visual Cognition*, *27*(3–4), 199–213.

Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E. K., & Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, *80*(6), 2918–2940.

Chelazzi, L., Marini, F., Pascucci, D., & Turatto, M. (2019). Getting rid of visual distractors: The why, when, how, and where. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 135–147.

Chen, S., Schnabl, L., Müller, H. J., & Conci, M. (2018). Amodal completion of a target template enhances attentional guidance in visual search. *I-Perception*, *9*(4), 1–10.

Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York, NY: Oxford University Press.

Cunningham, C. A., & Egeth, H. E. (2016). Taming the white bear: Initial costs and eventual benefits of distractor inhibition. *Psychological Science*, *27*(4), 476–485.

Cunningham, C. A., & Wolfe, J. M. (2014). The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(4), 1585–1599.

Daffron, J. L., & Davis, G. (2015). Templates for rejection can specify semantic properties of nontargets in natural scenes. *Journal of Vision*, *15*(15), 16.

Daffron, J. L., & Davis, G. (2016). Target templates specify visual, not semantic, features to guide search: A marked asymmetry between seeking and ignoring. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *78*(7), 2049–2065.

Dark, V. J., Vochatzer, K. G., & VanVoorhis, B. A. (1996). Semantic and spatial components of selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22*(1), 63–81.

de Groot, F., Huettig, F., & Olivers, C. N. L. (2017). Language-induced visual and semantic biases in visual search are subject to task requirements. *Visual Cognition*, *25*(1–3), 225–240.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*,

18(1), 193–222.

de Tommaso, M., & Turatto, M. (2019). Learning to ignore salient distractors: Attentional set and habituation. *Visual Cognition*, *27*(3–4), 214–226.

Dube, B., & Al-Aidroos, N. (2019). Distinct prioritization of visual working memory representations for search and for recall. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *81*(5), 1253–1261.

Duncan, J., & Humphreys, G. (1992). Beyond the search surface: Visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(2), 578–588.

Duncan, J., & Humphrey, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*(3), 433–458.

Evans, K. K., Horowitz, T. S., Howe, P., Pedersini, R., Reijnen, E., Pinto, Y., Kuzmova, Y., & Wolfe, J. M. (2011). Visual attention. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *2*(5), 503–514.

Ferrante, O., Patacca, A., di Caro, V., Della Libera, C., Santandrea, E., & Chelazzi, L. (2017). Altering spatial priority maps via statistical learning of target selection and distractor filtering. *Cortex*, *102*, 67–95.

Frătescu, M., van Moorselaar, D., & Mathôt, S. (2020). Correction to: Can you have multiple attentional templates? Large-scale replications of Van Moorselaar, Theeuwes, and Olivers (2014) and Hollingworth and Beck (2016). *Attention, Perception, & Psychophysics*, *82*(3), 1536.

Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *Journal of Neuroscience*, *34*(16), 5658–5666.

Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2018). High level of trait anxiety leads to salience-driven distraction and compensation. *Psychological Science*, *29*(12), 2020–2030.

Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2015). Direct evidence for active suppression of salient-but-irrelevant sensory inputs. *Psychological Science*, *26*(11), 1740–1750.

Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2017). Suppression of overt attentional capture by salient-but-irrelevant color singletons. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *79*(1), 45–62.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). Distinguishing among potential mechanisms of singleton suppression. *Human Perception and Performance*, *44*(4), 626–644.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2019). Inhibition as a potential resolution to the attentional capture debate. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 12–18.

Geng, J. J. (2014). Attentional mechanisms of distractor suppression. *Current Directions in Psychological Science*, *23*(2), 147–153.

Geng, J. J., DiQuattro, N. E., & Helm, J. (2017). Distractor probability changes the shape of the attentional template. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*(12), 1993–2007.

Geng, J. J., & Witkowski, P. (2019). Template-to-distractor distinctiveness regulates visual search efficiency. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 119–125.

Graves, T., & Egeth, H. E. (2015). When does feature search fail to protect against attentional capture? *Visual Cognition*, *23*(9–10), 1098–1123.

Grubert, A., Carlisle, N., & Eimer, M. (2016). The control of single-color and multiple-color visual search by attentional templates in working memory and in long-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *28*(12), 1947–1963.

Grubert, A., & Eimer, M. (2015). Rapid parallel attentional target selection in single-color and multiple-color visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *41*(1), 86–101.

Grubert, A., & Eimer, M. (2020). Preparatory template activation during search for alternating targets. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *32*(8), 1525–1535.

Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. L. (2014). Is a search template an ordinary working memory? Comparing electrophysiological markers of working memory maintenance for visual search and recognition. *Neuropsychologia*, *60*(1), 29–38.

Hessels, R. S., Hooge, I. T. C., Snijders, T. M., & Kemner, C. (2014). Is there a limit to the superiority of individuals with ASD in visual search? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *44*(2), 443–451.

Hollingworth, A., & Beck, V. M. (2016). Memory-based attention capture when multiple items are maintained in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(7), 911–917.

Hollingworth, A., & Hwang, S. (2013). The relationship between visual working memory and attention: Retention of precise colour information in the absence of effects on perceptual selection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *368*(1628), Article 20130061. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0061

Hout, M. C., & Goldinger, S. D. (2015). Target templates: The precision of mental representations affects attentional guidance and decision-making in visual search. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *77*(1), 128–149.

Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2009). Matching of visual input to only one item at any one time. *Psychological Research*, *73*(3), 317–326.

Hwang, A. D., Wang, H. C., & Pomplun, M. (2011). Semantic guidance of eye movements in real-world scenes. *Vision Research*, *51*(10), 1192–1205.

Irons, J. L., Folk, C. L., & Remington, R. W. (2012). All set! Evidence of simultaneous attentional control settings for multiple target colors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*(3), 758–775.

Keehn, B., Shih, P., Brenner, L. A., Townsend, J., & Müller,

R. A. (2012). Functional connectivity for an "island of sparing" in autism spectrum disorder: An fMRI study of visual search. *Human Brain Mapping*, *34*(10), 2524–2537.

Kerzel, D. (2019). The precision of attentional selection is far worse than the precision of the underlying memory representation. *Cognition*, *186*, 20–31.

Kerzel, D., & Cong, S. H. (2021). Attentional templates are sharpened through differential signal enhancement, not differential allocation of attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *33*(4), 594–610.

Kerzel, D., & Witzel, C. (2019). The allocation of resources in visual working memory and multiple attentional templates. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *45*(5), 645–658.

Kiss, M., Grubert, A., Petersen, A., & Eimer, M. (2012). Attentional capture by salient distractors during visual search is determined by temporal task demands. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(3), 749–759.

Kong, G., Meehan, J., & Fougnie, D. (2020). Working memory is corrupted by strategic changes in search templates. *Journal of Vision*, *20*(8), 1–10.

Kugler, G., 'T Hart, B. M., Kohlbecher, S., Einhäuser, W., & Schneider, E. (2015). Gaze in visual search is guided more efficiently by positive cues than by negative cues. *PLoS ONE*, *10*(12), Article e0145910. http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1276159

Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*(3), 291–308.

Lupyan, G. (2008). The conceptual grouping effect: Categories matter (and named categories matter more). *Cognition*, *108*(2), 566–577.

Malcolm, G. L., & Henderson, J. M. (2009). The effects of target template specificity on visual search in real-world scenes: Evidence from eye movements. *Journal of Vision*, *9*(11), 1–13.

Marciano, H., Gal, E., Kimchi, R., Hedley, D., Goldfarb, Y., & Bonneh, Y. S. (2021). Visual detection and decoding skills of aerial photography by adults with autism spectrum disorder (ASD). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *52*(3), 1346–1360.

Meyer, A. S., Belke, E., Telling, A. L., & Humphreys, G. W. (2007). Early activation of object names in visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, *14*(4), 710–716.

Moher, J., & Egeth, H. E. (2012). The ignoring paradox: Cueing distractor features leads first to selection, then to inhibition of to-be-ignored items. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *74*(8), 1590–1605.

Moores, E., Laiti, L., & Chelazzi, L. (2003). Associative knowledge controls deployment of visual selective attention. *Nature Neuroscience*, *6*(2), 182–189.

Nako, R., Smith, T. J., & Eimer, M. (2015). Activation of new attentional templates for real-world objects in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(5), 902–912.

Noonan, M. A. P., Adamian, N., Pike, A., Printzlau, F., Crittenden, B. M., & Stokes, M. G. (2016). Distinct mechanisms for distractor suppression and target facilitation. *Journal of Neuroscience*, *36*(6), 1797–1807.

Olivers, C. N. L., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(7), 327–334.

Ort, E., Fahrenfort, J. J., & Olivers, C. N. L. (2017). Lack of free choice reveals the cost of having to search for more than one object. *Psychological Science*, *28*(8), 1137–1147.

Peelen, M. V., Fei-Fei, L., & Kastner, S. (2009). Neural mechanisms of rapid natural scene categorization in human visual cortex. *Nature*, *460*(7251), 94–97.

Peelen, M. V., & Kastner, S. (2011). A neural basis for real-world visual search in human occipitotemporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(29), 12125–12130.

Rajsic, J., & Woodman, G. F. (2019). Do we remember templates better so that we can reject distractors better? *Attention, Perception, and Psychophysics*, *82*(1), 269–279.

Reeder, R. R., Olivers, C. N. L., Hanke, M., & Pollmann, S. (2018). No evidence for enhanced distractor template representation in early visual cortex. *Cortex*, *108*, 279–282.

Reeder, R. R., Olivers, C. N. L., & Pollmann, S. (2017). Cortical evidence for negative search templates. *Visual Cognition*, *25*(1–3), 278–290.

Reeder, R. R., & Peelen, M. V. (2013). The contents of the search template for category-level search in natural scenes. *Journal of Vision*, *13*(3), 13.

Reeder, R. R., Perini, F., & Peelen, M. V. (2015). Preparatory activity in posterior temporal cortex causally contributes to object detection in scenes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(11), 2117–2125.

Reeder, R. R., van Zoest, W., & Peelen, M. V. (2015). Involuntary attentional capture by task-irrelevant objects that match the search template for category detection in natural scenes. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *77*(4), 1070–1080.

Reinhart, R. M. G., & Woodman, G. F. (2014a). Causal control of medial-frontal cortex governs electrophysiological and behavioral indices of performance monitoring and learning. *Journal of Neuroscience*, *34*(12), 4214–4227.

Reinhart, R. M. G., & Woodman, G. F. (2014b). High stakes trigger the use of multiple memories to enhance the control of attention. *Cerebral Cortex*, *24*(8), 2022–2035.

Reinhart, R. M. G., & Woodman, G. F. (2015). Enhancing long-term memory with stimulation tunes visual attention in one trial. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(2), 625–630.

Salahub, C., & Emrich, S. M. (2021). Drawn to distraction: Anxiety impairs neural suppression of known distractor features in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *33*(8), 1506–1516.

Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *Journal of Neuroscience*, *32*(31), 10725–10736.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Atten Percept Psychophys*, *72*(6), 1455–1470.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition*, *19*(7), 956–972.

Schönhammer, J. G., Becker, S. I., & Kerzel, D. (2020). Attentional capture by context cues, not inhibition of cue singletons, explains same location costs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *46*(6), 610–628.

Shirama, A., Kato, N., & Kashino, M. (2017). When do individuals with autism spectrum disorder show superiority in visual search? *Autism*, *21*(8), 942–951.

Soto, D., Greene, C. M., Chaudhary, A., & Rotshtein, P. (2012). Competition in working memory reduces frontal guidance of visual selection. *Cerebral Cortex*, *22*(5), 1159–1169.

Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(9), 342–348.

Sun, S. Z., Shen, J., Shaw, M., Cant, J. S., & Ferber, S. (2015). Automatic capture of attention by conceptually generated working memory templates. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *77*(6), 1841–1847.

Suzuki, M., & Gottlieb, J. (2012). Distinct neural mechanisms of distractor suppression in the frontal and parietal lobe. *Nature Neuroscience*, *16*(1), 98–104.

Tanda, T., & Kawahara, J. (2020). An object-based template for rejection effect. *Visual Cognition*, *28*(2), 87–96.

Tanda, T., & Kawahara, J. I. (2019). Association between cue lead time and template-for-rejection effect. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *81*(6), 1880–1889.

Telling, A. L., Kumar, S., Meyer, A. S., & Humphreys, G. W. (2010). Electrophysiological evidence of semantic interference in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(10), 2212–2225.

Theeuwes, J., Kramer, A. F., & Atchley, P. (1998). Visual marking of old objects. *Psychonomic Bulletin and Review*, *5*(1), 130–134.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*(1), 97–136.

Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(3), 459–478.

Turatto, M., Bonetti, F., Pascucci, D., & Chelazzi, L. (2018). Desensitizing the attention system to distraction while idling: A new latent learning phenomenon in the visual attention domain. *Journal of Experimental Psychology: General*, *147*(12), 1827–1850.

van Diepen, R. M., Foxe, J. J., & Mazaheri, A. (2019). The functional role of alpha-band activity in attentional processing: The current zeitgeist and future outlook. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 229–238.

van Loon, A. M., Olmos-Solis, K., & Olivers, C. N. L. (2017). Subtle eye movement metrics reveal task-relevant representations prior to visual search. *Journal of Vision*, *17*(6), 13.

van Moorselaar, D., Olivers, C. N. L., Theeuwes, J., Lamme, V. A. F., & Sligte, I. G. (2015). Forgotten but not gone: Retro-cue costs and benefits in a double-cueing paradigm suggest multiple states in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *41*(6), 1755–1763.

van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2014). In competition for the attentional template: Only a single item in visual working memory can guide attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(4), 1450.

Vatterott, D. B., & Vecera, S. P. (2012). Experience-dependent attentional tuning of distractor rejection. *Psychonomic Bulletin and Review*, *19*(5), 871–878.

Vickery, T. J., King, L. W., & Jiang, Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, *5*(1), 81–92.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*(6984), 748–751.

Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, *438*(7067), 500–503.

Wang, B., & Theeuwes, J. (2018a). How to inhibit a distractor location? Statistical learning versus active, top-down suppression. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *80*(4), 860–870.

Wang, B., & Theeuwes, J. (2018b). Statistical regularities modulate attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(1), 13–17.

Watson, G. D., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: Prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, *104*(1), 90–122.

Wei, P., Müller, H. J., Pollmann, S., & Zhou, X. (2009). Neural basis of interaction between target presence and

display homogeneity in visual search: An fMRI study. *NeuroImage*, *45*(3), 993–1001.

Witkowski, P., & Geng, J. J. (2019). Learned feature variance is encoded in the target template and drives visual search. *Visual Cognition*, *27*(5–8), 487–501.

Wolfe, J. M. (2012). Saved by a log: How do humans perform hybrid visual and memory search? *Psychological Science*, *23*(7), 698–703.

Wolfe, J. M. (2020a). Forty years after feature integration theory: An introduction to the special issue in honor of the contributions of Anne Treisman. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *82*(1), 1–6.

Wolfe, J. M. (2020b). Visual search: How do we find what we are looking for? *Annual Review of Vision Science*, *6*, 539–562.

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(6), 495–501.

Won, B. Y., & Geng, J. J. (2018). Learned suppression for multiple distractors in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(7), 1128–1141.

Won, B. Y., Haberman, J., Bliss-Moreau, E., & Geng, J. J. (2020). Flexible target templates improve visual search accuracy for faces depicting emotion. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *82*(6), 2909–2923.

Woodman, G. F., & Arita, J. T. (2011). Direct electrophysiological measurement of attentional templates in visual working memory. *Psychological Science*, *22*(2), 212–215.

Woodman, G. F., Carlisle, N. B., & Reinhart, R. M. G. (2013). Where do we store the memory representations that guide attention? *Journal of Vision*, *13*(3), 1–17.

Woodman, G. F., Luck, S. J., & Schall, J. D. (2007). The role of working memory representations in the control of attention. *Cerebral Cortex*, *17*(Suppl. 1), 118–124.

Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, *12*(3), 219–224.

Worschech, F., & Ansorge, U. (2012). Top-down search for color prevents voluntary directing of attention to informative singleton cues. *Experimental Psychology*, *59*(3), 153–162.

Wurth, M., & Reeder, R. R. (2019). Diagnostic parts are not exclusive in the search template for real-world object categories. *Acta Psychologica*, *196*(March), 11–17.

Yu, X., Hanks, T. D., & Geng, J. J. (2022). Attentional guidance and match decisions rely on different template information during visual search. *Psychological Science*, *33*(1), 105–120.

Zhang, J., Ye, C., Sun, H.-J., Zhou, J., Liang, T., Li, Y., & Liu, Q. (2021). The Passive State: A Protective Mechanism for Information in Working Memory Tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Advance online publication. https://doi.org/10.1037/xlm0001092

Zhang, Q., & Li, S. (2020). The roles of spatial frequency in category-level visual search of real-world scenes. *PsyCh Journal*, *9*(1), 44–55.

Zhang, Z., Gapelin, N., & Carlisle, N. B. (2020). Probing early attention following negative and positive templates. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *82*(3), 1166–1175.

Zhou, C., Lorist, M. M., & Mathôt, S. (2020). Concurrent guidance of attention by multiple working memory items: Behavioral and computational evidence. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *82*(6), 2950–2962.

The internal mechanisms of attentional templates in facilitating visual search

WANG Zile, ZHANG Qi

(*School of Educational Science, Minnan Normal University, Zhangzhou* 363000, *China*)

Abstract: The visual searchability of organisms has a crucial survival significance for adapting to a complex environment. Attentional templates can enhance relevant information and suppress irrelevant information to find the target quickly during the search task. Recent studies indicate that it is not clear whether the process of establishing attentional templates is based on semantic or visual feature information. Moreover, attentional templates can be stored in both the working and long-term memory, and there are differences in the neural mechanisms of different types of attentional templates. Future research should pay attention to how the internal information is transmitted during the establishment of attentional templates, the neural mechanisms of attentional templates in different populations, and resolve theoretical disputes about the suppression mechanism of rejection templates.

Key words: attentional templates, rejection template, neural mechanism, memory